



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
BACHARELADO EM AGRONOMIA

ALISON JOSÉ DA SILVA

ESCOAMENTO SUPERFICIAL E EROSÃO ENTRESSULCOS
EM PLANOSSOLO SOB PASTAGEM COM DIFERENTES
PERÍODOS DE IMPLANTAÇÃO

AREIA – PB
OUTUBRO DE 2019

ALISON JOSÉ DA SILVA

**ESCOAMENTO SUPERFICIAL E EROSÃO ENTRESSULCOS EM PLANOSSOLO
SOB PASTAGEM COM DIFERENTES PERÍODOS DE IMPLANTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Paraíba como parte
das exigências para a obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira
(Orientador)

Areia – PB

Outubro de 2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586e Silva, Alison Jose da.

Escoamento superficial e erosão entressulcos em
planossolo sob pastagem com diferentes períodos de
implantação / Alison Jose da Silva. - Areia, 2019.
47 f. : il.

Orientação: Flávio Pereira de Oliveira.
Monografia (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Erosão Hídrica. 2. Erodibilidade. 3. Perdas de Solo.
I. Oliveira, Flávio Pereira de. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

ALISON JOSÉ DA SILVA

**ESCOAMENTO SUPERFICIAL E EROSÃO ENTRESSULCOS EM PLANOSSOLO
SOB PASTAGEM COM DIFERENTES PERÍODOS DE IMPLANTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Paraíba como parte
das exigências para a obtenção do título de
Bacharel em Agronomia

Aprovado em: 18 de outubro de 2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.
DSER/CCA/UFPB
Orientador



Danillo Dutra Tavares, Msc.
Doutorando do PPGCS/UFRPE
Examinador



Rodolpho José de Almeida Nascimento, Dr.
DSER/CCA/UFPB
Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele nada disso seria possível, me ajudando, mesmo sem que eu merecesse, para que tudo desse certo e por colocar as pessoas certas para me ajudar em cada dificuldade que apareceu. A Virgem Santíssima, Mãe de Deus e nossa, que velou por cada passo no caminho para realização desse trabalho.

A minha família, meus pais, avós e irmãos, que são a base que sustenta minha vida, que me apoiaram em todos os momentos, permitindo que eu fizesse não apenas nesse trabalho, mas em toda graduação.

Ao Professor Flávio Pereira de Oliveira, por toda convivência, paciência, confiança, apoio e orientação, em todos esses anos de vida acadêmica.

Ao laboratorista Roberval Diniz Santiago, pela convivência e pelos conselhos para a vida toda.

Aos amigos, Pedro Luan, Nabor Galvão, Igor Gabriel, Leandro Fernandes, João Pedro e José Otávio por ajudarem na realização desse trabalho, mais principalmente por todo o companheirismo, aos amigos que ofereceram apoio moral durante a graduação: Fagner Garcia, Juscelino Florentino, Tales Duarte, Danillo Dutra, Iego Borges, Elisandra Sousa, Renalle Cavalcante, Mariana Vasconcelos e todos que compartilharam tempo de suas vidas convivendo comigo.

Aos amigos do Twitter, e aos produtores de Podcasts, que ajudaram a tornar menos entediante a rotina dos ensaios de erosão e as análises laboratoriais.

Aqueles que esqueci, meus sinceros pedidos de desculpas, irei demonstrar a minha gratidão por outros meios.

“Consola-me saber que o Senhor sabe trabalhar e
agir também com instrumentos insuficientes.”

- Bento XVI

RESUMO

O solo é um dos mais básicos e importantes recursos naturais, sendo a base para o desenvolvimento da pecuária, atividade importante no cenário nacional, e que depende muito do cultivo de pastagens para a alimentação dos animais. Entretanto, o cultivo de pastagens no Brasil é muitas vezes tratado como uma atividade de menor importância, o que resulta na degradação do pasto e do solo. Dentre os inúmeros fatores para a degradação, a erosão do solo é um dos principais, causando perda de partículas, nutrientes e matéria orgânica do solo. Assim, em vista da importância do cultivo de pastagens e da erosão do solo, o objetivo deste trabalho foi avaliar as taxas de desagregação em entressulcos e variáveis hidráulicas do escoamento superficial sob chuvas simuladas em Planossolo sob pastagem com diferentes períodos de implantação. Para realização deste estudo foram selecionadas três áreas com pastagem com períodos de implantação de dois anos (P2), três anos (P3) e quatro anos (P4) e uma área comparativa com vegetação nativa (VN), sobre um Planossolo háplico, localizado no município de Duas Estradas-PB. Amostras de solo deformadas foram coletadas da camada de 0-20cm e indeformadas das camadas de 0-10 cm e 10-20 cm, usadas para os testes de erosão e para caracterização física e química do solo, respectivamente. Os testes com chuva simulada foram realizados em parcelas experimentais preenchidas com uma camada de solo em casa de vegetação, e declividade de 0,05 m m⁻¹, para a aplicação de chuvas, utilizou-se um bico aspersor localizado a 3,1 m acima das parcelas, simulando precipitações de 130 mm h⁻¹, com durações de 75 minutos. Foram avaliadas as variáveis hidráulicas do escoamento superficial, taxa de desagregação do solo (Di), erodibilidade em entressulcos (Ki) e as perdas totais de solo (PSi). De acordo com os resultados obtidos, o regime de escoamento nos testes foi o laminar lento, confirmando a ocorrência de erosão entressulcos, as taxas de desagregação (Di) e a erodibilidade (Ki) não variaram entre as condições avaliadas, indicando que a conversão da vegetação nativa em pastagem não afetou significativamente a susceptibilidade do solo a erosão. Quanto as taxas de perda de solo (PSi) houve diferenças entre os tratamentos P3 e VN, mas não entre esses tratamentos e o P2 e P4, indicando que as maiores perdas não decorrem de influência direta da pastagem, mas de outro atributo do solo. Por fim, a conversão da vegetação nativa em pastagem, não alterou a erodibilidade do solo, entretanto, aumentou as perdas de solo.

Palavras-chave: Erosão hídrica; Erodibilidade; Perdas de solo

ABSTRACT

Soil is one of the most basic and important natural resources, being the basis for the development of livestock, which is important in the national scenario, and that depends a lot on the cultivation of pastures for animal feed. However, pasture cultivation in Brazil is often treated as a minor activity, which results in pasture and soil degradation. Of the factors for degradation, and soil erosion is a major, causing loss of soil particles, nutrients and organic matter. Thus, in view of the importance of pasture cultivation and soil erosion, the objective of this work was to evaluate the disintegration rates in mulch and hydraulic variables of runoff under simulated rainfall in Planosolo under pasture with different periods of implantation. To carry out this study, three pasture areas with two-year (P2), three-year (P3) and four-year (P4) periods and a comparative area with native vegetation (VN) were selected over a haplic planossol, located in the municipality of Duas Estradas-PB. Deformed soil samples were collected from the 0-20cm layer and undeformed from the 0-10cm and 10-20cm layers, used for erosion tests and for soil physical and chemical characterization, respectively. The simulated rain tests were carried out in experimental plots filled with a soil layer in a greenhouse, and a slope of 0.05 m m⁻¹, for the application of rainfall, using a sprinkler nozzle located at 3.1 m. above the plots, simulating precipitation of 130 mm h⁻¹, lasting 75 minutes. Surface runoff hydraulic variables, soil disintegration rate (Di), intercrop erodibility (Ki) and total soil losses (PSi) were evaluated. According to the results obtained, the flow regime in the tests was the slow laminar, confirming the occurrence of cross-erosion, the disintegration rates (Di) and erodibility (Ki) did not vary between the evaluated conditions, indicating that the conversion of the Native pasture vegetation did not significantly affect soil susceptibility to erosion. Regarding soil loss rates (PSi), there were differences between treatments P3 and VN, but not between these treatments and P2 and P4, indicating that the highest losses do not result from direct pasture influence, but from another soil attribute. Finally, the conversion of native vegetation to pasture did not change soil erodibility, however, increased soil losses.

Key Words: Hidric erosion; Erodibility; Soil loss

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Área de Vegetação Nativa.	20
Figura 2 - Área de pastagem com dois anos de implantação.	20
Figura 3 - Área de Pastagem com três anos de implantação.	21
Figura 4 - Área de pastagem com quatro anos de implantação, ao fundo, a área de vegetação nativa.	22
Figura 5 - Visão geral do simulador de chuvas e das parcelas experimentais.	25
Figura 6 - Taxas de desagregação em um Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.	36
Figura 7 - Perdas de solo em um Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Textura e grau de flocculação em um Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.	30
Tabela 2 - Distribuição, diâmetro médio ponderado e índice de estabilidade de agregados em um Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.	31
Tabela 3 - Densidades de partícula e do solo e porosidade do solo (macro, micro e total) em um Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.	32
Tabela 4 - Atributos de química e fertilidade em um Planossolo sob Pastagem e vegetação nativa.	33
Tabela 5 - Caracterização das variáveis hidráulicas do escoamento em entressulcos em um Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.....	34
Tabela 6 - Taxas de desagregação (Di), Perda de solo total (PSi) e erodibilidade (Ki) de Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.....	35

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	13
2.1.	Objetivos específicos	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1.	Erosão do solo	14
3.2.	O processo erosivo	15
3.3.	Erosão Entressulcos	16
3.4.	Planossolos	17
3.5.	Influência do uso e manejo do solo nos seus atributos	17
3.6.	Pastagens	18
4.	MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1.	Histórico de uso, seleção de áreas e amostragem do solo	19
4.2.	Caracterização física do solo	22
4.2.1.	Análise granulométrica do solo	22
4.2.2.	Argila Dispersa em água e grau de floculação	22
4.2.3.	Densidade de solo, partícula e porosidade (macro, micro e total)	23
4.2.4.	Estabilidade dos agregados	24
4.3.	Testes de Chuva	24
4.3.1.	Instalação e realização do estudo	24
4.3.2.	Aplicação das chuvas simuladas	25
4.3.3.	Determinação de perda de solo e água	25
4.3.4.	Determinações de taxa de desagregação e erodibilidade do solo em entressulcos	26
4.3.5.	Caracterização das variáveis hidráulicas do escoamento em entressulcos	27
4.4.	Caracterização de química e fertilidade do solo	28
4.5.	Análise estatística	29
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1.	Caracterização Física do solo	30
5.1.1.	Textura, argila dispersa em água e grau de floculação	30
5.1.2.	Estabilidade de agregados do solo	31
5.1.3.	Densidade de partícula e do solo e porosidade do solo	32
5.2.	Caracterização de química e fertilidade	32
5.3.	Caracterização das variáveis hidráulicas do escoamento	34
5.4.	Taxa de desagregação, erodibilidade e perdas de solo	35
6.	CONCLUSÕES	39
	REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

O solo é um dos mais básicos e importantes recursos naturais, de papel destacado dentro dos ecossistemas e para a sociedade (Blanco & Lal, 2008; Oliveira, 2010). Sendo a base para desenvolvimento de diversos ecossistemas, sustentando florestas, organismos, e regulando parte do ciclo hidrológico (Brandy & Weil, 2009). Nele também se realizam algumas das atividades mais importantes para a humanidade como a agricultura e a pecuária.

As diferentes formas de uso e manejo do solo, ocasionam a sua alteração e, em muitos casos, a degradação, reduzindo a sua qualidade e causando danos a sua sustentabilidade (Guerra et al., 2014; Silva et al., 2019a). Dentre as formas de uso do solo o cultivo de pastagens para alimentação animal é uma atividade de destaque no Brasil, onde 11,2% do território nacional ocupado com elas (Carvalho, 2017), e a maioria das 215 milhões de cabeças do rebanho brasileiro as tem como principal fonte de alimento (Carvalho & Zen, 2017).

As pastagens também têm importância nos processos de conservação e degradação do solo, o pasto bem manejado aumenta os teores de matéria orgânica, proporcionando uma maior agregação, as raízes auxiliam na reestruturação após a compactação pelo pisoteio animal e a parte aérea cria uma cobertura que protege o solo (Ferreira et al., 2010). Em contrapartida, um pasto mal manejado acumula menos matéria orgânica, tem agregados pouco estáveis, as raízes são incapazes de reestruturar o solo compactado e ocorre a exposição do solo, o deixando vulnerável ao ambiente (Muller et al., 2001). Estimativas apontam que mais de 77% das áreas de pastagem no Brasil apresentam algum nível de degradação (Dias-Filho, 2014)

Dentre os fatores para degradação do solo a erosão é considerada o principal, causando perdas de fertilidade, matéria orgânica do solo e também o assoreamento de corpos de água (Silva et al, 2016; Martins & Fernandes, 2017). E, segundo Brandy & Weil (2009), é acelerada quando ocorre a ação antrópica sobre um solo alterando sua cobertura e as características originais. De acordo com Borrelli et al (2013), as perdas de solo na América do Sul em 2001 eram estimadas em $3,53 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, valor que aumentou 10% no período de tempo entre 2001 e 2012, principalmente devido a expansão da área cultivada pela Argentina, Brasil e Paraguai.

De forma específica, a erosão hídrica do solo envolve as etapas de desagregação, transporte e deposição de sedimentos. Meyer et al. (1975) sugeriram separar o processo de erosão hídrica em entressulcos e em sulcos. A erosão em entressulcos tem como principal agente erosivo responsável pela desagregação a precipitação pluvial e o transporte ocorre por uma ação combinada do efeito salpicamento e do escoamento difuso (Oliveira et al. 2012). A

erosão em sulcos tem o crescimento do escoamento em pequenos canais de escoamento (sulcos) (Blanco & Lal, 2008).

Compreende-se que a pecuária extensiva é uma atividade que é comumente praticada no Brasil, e também é economicamente importante, assim, na perspectiva da produção sustentável, e com enfoque na conservação do solo, justifica-se a realização de uma avaliação nas alterações que ocorrem nas características de um solo que foi submetido a ocupação com pastagem e pastejo por diferentes períodos de tempo.

2. OBJETIVOS

Avaliar as taxas de desagregação em entressulcos e variáveis hidráulicas do escoamento superficial sob chuva simulada em Planossolo sob pastagem com diferentes períodos de implantação e vegetação nativa.

2.1.Objetivos específicos

A) Caracterizar as variáveis hidráulicas do escoamento sob chuva simulada tais como, velocidade e altura de escoamento, e a resistência ao escoamento sob solo descoberto.

B) Caracterizar as perdas de solo, desagregação e erodibilidade do solo.

C) Determinar atributos físicos e de química e fertilidade do solo de áreas de pastagem com diferentes períodos de implantação e com vegetação nativa.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1.Erosão do solo

Erosão é o processo do desprendimento e consequentemente arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento (Dyonisio, 2010). Ela ocorre naturalmente, onde um material terroso ou rochoso é desagregado e removido e um lugar para outro, e é importante para o nivelamento ou suavização da crosta terrestre, por meio dela que se formam os ambientes de deposição de sedimentos, como vales, lagos e baías (Silva, 1995; Brandy & Weil, 2013).

Na natureza, sem influência antrópica, geralmente há uma condição de equilíbrio entre a formação de solos e a erosão, de forma que as perdas de solo, geralmente, são inferiores as taxas de formação, nestas condições é chamada de erosão geológica. Quando a vegetação original é removida pelo homem, acontece a erosão Antrópica, que é caracterizada pelas altas taxas de perdas de solo em um período muito curto de tempo que ocorrem após a interferência do homem (Silva, 1995; Blanco & Lal, 2008; Brandy & Weil, 2009). De acordo com Montgomery (2007) a as taxas de erosão de solos em áreas de agricultura convencional são 118 vezes superiores a vegetação nativa, 18 vezes superiores à agricultura conservacionista e 90 vezes superiores a formação do solo.

A erosão é um processo complexo, influenciada direta e indiretamente por uma grande variedade de agentes e fatores. Como agentes de erosão os principais são a água, vento, temperatura e organismos vivos, agindo diretamente sobre a rocha ou o solo. Como fatores de influência cita-se o regime de chuvas, topografia, cobertura vegetal e propriedades do solo. Devido isto, existem muitas formas de erosão, as principais são a erosão hídrica e a erosão eólica. A eólica tem a desagregação e transporte do solo causadas devido a ação dos ventos, ocorrendo de forma mais pontual em regiões com pouca vegetação, geralmente de clima árido e semiárido e também em regiões costeiras. Na hídrica o solo é desagregado e transportado pela ação da água, é considerada como a principal forma de erosão, afetado áreas em todo o mundo (Silva, 1995; Brandy & Weil, 2009; Dyonisio, 2010; Ramalho et al, 2013).

Existem várias formas de erosão hídrica, as formas mais comumente encontradas são a erosão entressulcos (laminar), em sulcos e em voçorocas. As diferenças entre elas se relacionam a sua forma de ação, a intensidade dos fatores de erosão e a concentração do fluxo do escoamento superficial (Silva, 1995; Blanco & Lal, 2008). A erosão hídrica é desencadeada

pelos eventos de chuva (FAO, 2019), sendo esse um fenômeno de abrangência mundial (Guerra et al, 2015).

3.2. O processo erosivo

A erosão hídrica do solo acontece por meio de um conjunto de etapas subsequentes, que de acordo com Brandy & Weil (2009) e FAO (2019), são 3: a desagregação, transporte e deposição das partículas do solo. Na erosão hídrica proporcionada pela chuva, estas etapas recebem nomenclaturas específicas, de acordo com as formas que ocorrem (Guerra et al, 2015).

A primeira etapa é a desagregação do solo pela chuva, também chamada de erosão por salpicamento (Blanco & Lal, 2008; Guerra et al, 2015) e “rain splash” (Oliveira et al, 2012). Nessa etapa, o impacto das gotas de chuva desagrega o solo, destrói os agregados e provoca uma movimentação significativa (Brandy & Weil, 2009), promovendo o salpicamento das partículas de solo. Segundo Guerra et al (2015) os principais fatores nessa fase são a energia cinética das chuvas e a estabilidade de agregados. A energia cinética das chuvas irá determinar a sua erosividade, que é a capacidade da precipitação de causar erosão (Colodro et al, 2002), chuvas mais intensas e concentradas, com gotas maiores aumentam a erosividade. A estabilidade dos agregados refere-se à capacidade que os agregados do solo de resistiram a forças externas e permanecerem estáveis (Silva et al, 2006; Salton et al, 2008), o tamanho dos agregados determinam a sua suscetibilidade a sua movimentação pela água, agregados instáveis que tem seu tamanho reduzido com mais facilidade tornam o solo mais suscetível a erosão (Klein, 2014; Guerra et al, 2015). A desagregação é a principal fase do processo erosivo, pois prepara as partículas que compõem o solo, para serem transportadas pelo escoamento superficial (Guerra et al, 2015). Dados apresentados por Ivo et al (2018) mostram que a proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva reduz as perdas em 28 vezes.

Quando a intensidade da precipitação excede a capacidade de infiltração, a água se acumula na superfície do solo e começa a se deslocar, formando um fluxo, caracterizando a segunda fase do processo erosivo, o transporte das partículas, que na erosão hídrica recebe o nome de escoamento ou escoamento superficial (FAO, 2019), podendo ocorrer de forma difusa pela superfície do solo (escoamento entressulcos), ou formando pontos com escoamento mais intenso (escoamento em sulcos) (Silva, 1995).

Os principais fatores que influenciam o escoamento são a capacidade de infiltração, micromorfologia do solo, topografia e cobertura do solo (Silva, 1995). A capacidade de infiltração, segundo Klein (2014), é influenciada principalmente pela quantidade de

macroporos, pois é por meio deles que a água é conduzida para maiores profundidades. A micromorfologia e a topografia do solo tem influência na velocidade do escoamento devido a declividade, o comprimento de rampa e a ocorrência de obstáculos. Maiores declividades implicam em maiores velocidades, o comprimento de rampa refere-se ao espaço sem a ocorrência de obstáculos ao escoamento na superfície, os obstáculos, por sua vez, são pequenas alterações no relevo no solo que aumentam a rugosidade da superfície e criam barreiras para o fluxo de água (Silva, 1995; Klein, 2014).

A fase de deposição de sedimento ocorre quando o fluxo de água perde velocidade, reduzindo a capacidade de transporte, o que acontece quando o evento de precipitação termina ou quando a declividade diminui e o fluxo perde velocidade (Guerra et al, 2014). A deposição na erosão hídrica ocorre em áreas mais baixas, geralmente em locais como planícies aluviais, lagos e rios, parte dos sedimentos podem se acumular em locais planos e a menor parte chega ao mar ou as planícies costeiras (Brandy & Weil, 2009).

3.3. Erosão Entressulcos

A erosão entressulcos é o princípio da erosão hídrica, ocorrendo em conjunto ou independente da erosão em sulcos, devido aos mecanismos que a causam, como a desagregação pelo impacto das gotas de chuva e o transporte das partículas pelo fluxo laminar, é comumente encontrada em áreas agrícolas. (Silva, 2011).

Nela, durante a fase de escoamento, ocorre apenas o do tipo entressulcos, com escoamento laminar lento, pouco turbulento, indicado por número de Reynolds abaixo de 500 e número de Froude abaixo de 1 (Morgan, 2005; Tavares, 2016; Nascimento, 2019).

A maior parte da desagregação é proporcionada pelo impacto das gotas de chuva e o transporte é realizado por meio do salpicamento e do escoamento difuso da água, em vista disto, é muito influenciada pela declividade, cobertura do solo, estabilidade de agregados, textura e argila natural (Silva, 1995; Morgan, 2005).

As partículas mais finas são as mais facilmente transportadas, e são as principais carregadas neste tipo de erosão (Han et al, 2019), de acordo com Bovi et al (2017), em escoamentos mais lentos transportam partículas mais finas, pois não possuem energia para carrear agregados ou partículas grosseiras.

3.4. Planossolos

Os planossolos são uma classe que comumente encontrada em áreas de baixadas, nos terços médio-baixo e baixo do relevo (Mota et al, 2002). São solos pouco comuns a nível nacional, presentes em apenas 2% da área do país (Batista et al, 2014), entretanto, a nível regional, são comuns na região Nordeste, presente em mais de 7% do território Nordestino (Marques et al, 2014) e 13% da Paraíba (Medeiros, 2018). No Nordeste, são muito utilizados como área de pastagem (Parahyba et al, 2009; Batista et al, 2014).

De acordo com Santos et al (2018) o conceito de planossolos são:

Solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta, constituindo, por vezes, um horizonte pã, responsável pela formação de lençol d'água sobreposto (suspensão) e de existência periódica durante o ano.

Devido a característica de mudança textural abrupta entre os horizontes A ou E e o B, os Planossolos são altamente suscetíveis a erosão pois tem uma redução de drenagem com a profundidade, o que favorece o escoamento superficial, aumentando a susceptibilidade a erosão (Oliveira et al, 2008; Souza et al, 2017). A ocorrência de horizontes superficiais arenosos, faz esse tipo de solo ter uma tendência ao predomínio de poros texturais e baixa macroporosidade, dificultando a circulação de água, favorecendo o acúmulo de água na superfície, o escoamento superficial, e consequentemente, a erosão (Reichert et al, 2009; Ribeiro et al, 2016)

3.5. Influência do uso e manejo do solo nos seus atributos

A alteração da ocupação e do uso de um solo podem alterar os atributos do solo, podendo ou não isto ser danoso para o desenvolvimento de plantas neste sítio (Silva et al, 2019a). A retirada da vegetação nativa para realização de atividades agropecuárias modifica o solo, isso pode alterar diretamente sua estrutura, atividade biológica e fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas (Carneiro et al, 2009). E que pode causar a degradação do solo (Moraes et al, 2012).

Alguns atributos que têm uma grande influência na erodibilidade, como estabilidade de agregados, e capacidade de infiltração, são alterados pela mudança na ocupação de um solo (Guerra et al, 2014; Batista & Sousa, 2015; Konradt et al, 2015).

A estabilidade de agregados é muito influenciada pela matéria orgânica do solo, pois essa funciona como agente cimentante das partículas do solo, comumente a redução dos teores

de matéria orgânica no solo implica na redução da estabilidade (Silva, 2011; Silva & Mendonça, 2007). A capacidade de infiltração, é influenciada pela estruturação do solo, principalmente a porosidade, a movimentação de máquinas agrícolas ou o pisoteio dos animais causam a compactação do solo, reduzindo do espaço poroso, principalmente dos macroporos, o que resulta numa capacidade de infiltração menor (Klein, 2014; Pellegrini, 2016).

3.6. Pastagens

No Brasil as pastagens representam a forma mais prática e econômica para a sustentação da pecuária na alimentação de bovinos (Fantin, 2012). De acordo com Dias-Filho (2016) as pastagens são a base para a alimentação de bovinos de corte, sendo esse o principal fator para a competitividade da carne brasileira no mercado. Estima-se que mais de 11% do território nacional é ocupado com pastagens (Carvalho, 2017).

O cultivo de pastagens sempre ocorreu principalmente em áreas de fronteira agrícola, sendo a primeira forma de ocupação agropecuária, o que a faz ser muitas vezes tratada como atividade secundária, sem a preocupação com o manejo (Dias-Filho, 2016).

O manejo incorreto de pastagens provoca a sua degradação reduzindo a cobertura do solo e favorecendo a erosão (Silveira et al, 2015), reduzindo a porosidade do solo e o compactando (Costa et al, 2011). Mas quando bem manejada, a pastagem se torna um importante meio para a conservação do solo (Ferreira et al., 2010; Fantin, 2012). Um pasto corretamente manejado não compromete a qualidade física do solo, pode acumular matéria orgânica no solo, abrir poros, favorecendo a retenção e infiltração da água e criar uma cobertura para a superfície, reestruturando o solo e o reduzindo a susceptibilidade a erosão (Fidalski et al., 2008; Ferreira et al, 2010).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural, de Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba – DSER/CCA/UFPB.

Para a realização deste estudo foram selecionadas áreas de um Planossolo Háplico (Santos et al.; 2018), no município de Duas Estradas – PB, sob pastagens em diferentes períodos de implantação.

O município está inserido na Região Imediata de Guarabira, Região Intermediária de João Pessoa (IBGE, 2017), outrora Microrregião de Guarabira, Agreste Paraibano (IBGE, 1990), sob as coordenadas 6° 41' 11.47'' S e 35° 25' 3.57'' O e 120 metros de altitude.

Segundo a classificação Köppeng-Geiger, o clima que predomina no município é o do tipo As' com chuvas de outono-inverno, e precipitação anual média de 840 mm (AESAs, 2019), com temperatura média variando de 24 a 28°C, e umidade relativa do ar variando entre 72 e 88% (INMET, 2019).

4.1. Histórico de uso, seleção de áreas e amostragem do solo

Foram selecionadas quatro áreas: I. Vegetação Nativa (VN), II. Pastagem com 2 anos de implantação (P2); III. Pastagem com 3 anos de implantação (P3); IV. Pastagem com 4 anos de implantação (P4). O manejo da pastagem e dos animais é semelhante em todas as áreas e, o controle de plantas daninhas, é realizado por meio de herbicidas, e a entrada e saída dos animais é feita de acordo com a avaliação visual das plantas.

4.1.1. Vegetação nativa

A área sob vegetação nativa pouco alterada foi classificada como Savana-estépica florestada, segundo o a classificação da vegetação brasileira (IBGE, 2012).

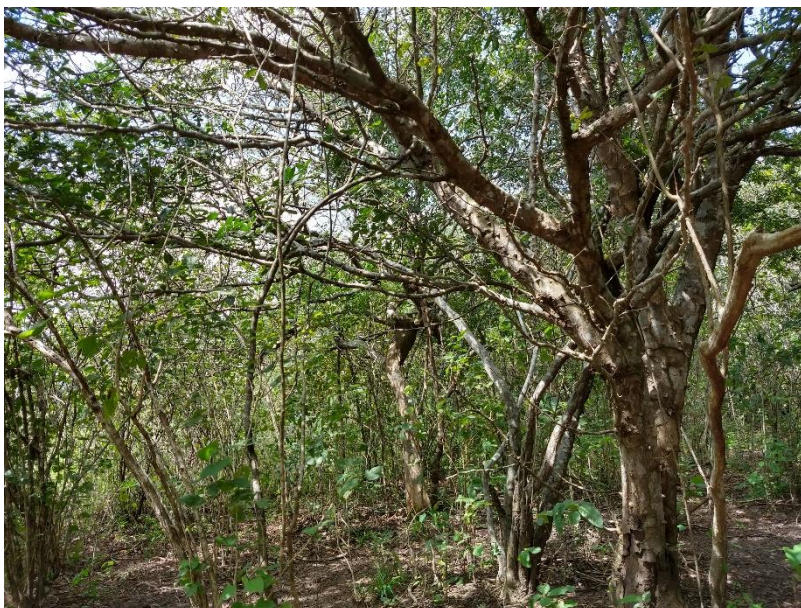


Figura 1 - Área de Vegetação Nativa.

4.1.2. Pastagem com dois anos de implantação

A área de pastagem com dois anos, era ocupada com vegetação nativa em estágios iniciais de regeneração (capoeira) e a dois anos foi convertida em área de pastagem cultivada com *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster.



Figura 2 - Área de pastagem com dois anos de implantação.

4.1.3. Pastagem com três anos de implantação



Figura 3 - Área de Pastagem com três anos de implantação.

A área de pastagem com três anos de implantação, era anteriormente uma capoeira, que foi convertida com implantação de abacaxi por 1 ciclo. Após a colheita, permitiu-se que a vegetação nativa crescesse por um ano, e posteriormente converteu-se a área em pastagem cultivada, também com *Urochloa decumbens*.

4.1.4. Pastagem com quatro anos de implantação

A pastagem de 4 anos de implantação, era uma antiga área de capoeira, e a quatro anos fez-se a conversão de capoeira para pastagem de *Urochloa decumbens*.



Figura 4 - Área de pastagem com quatro anos de implantação, ao fundo, a área de vegetação nativa.

4.1.5. Amostragem do solo

Amostras deformadas de solo foram coletadas a campo na camada de 0-20 cm de profundidade para o estudo de erosão em entressulcos, e as indeformadas foram das camadas de 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade para a caracterização física e química.

4.2. Caracterização física do solo

4.2.1. Análise granulométrica do solo

A análise granulométrica dos solos amostrados foi realizada pela distribuição de diâmetro de partículas primárias, conforme o método do Densímetro (Hidrômetro de Bouyoucos) (Teixeira et al, 2017), usando hidróxido de sódio (NaOH-1N) como agente dispersante mais agitação mecânica.

4.2.2. Argila Dispersa em água e grau de floculação

Para a determinação da argila dispersa em água foi utilizado o mesmo procedimento da determinação da argila total, porém, sem o uso do dispersante químico.

O grau de floculação foi obtido pela seguinte formula.

$$Gf = \frac{Arg - ArgH2O}{Arg} \quad (1)$$

Onde: Gf é o grau de floculação (%), Arg é o teor de argila dispersa em hidróxido de sódio – NaOH (g kg⁻¹) e ArgH2O é o teor de argila dispersa em água (g kg⁻¹).

4.2.3. Densidade de solo, partícula e porosidade (macro, micro e total)

A densidade do solo e de partícula foram determinadas segundo metodologias descritas por Teixeira et al (2017).

A densidade do solo foi determinada com base no princípio do cilindro volumétrico. Utilizando-se de cilindros com volume interno conhecido, coletou-se o solo em campo, de forma a não alterar a sua estrutura. Posteriormente, levaram-se as amostras para laboratório, onde o solo foi seco em estufa a 105°C até peso constante, e calculou-se a densidade do solo por meio da expressão:

$$Ds = \frac{MSS}{V} \quad (2)$$

Onde: Ds é a densidade do solo (g cm⁻³), MSS é a massa do solo seco (g) e V é o volume interno do cilindro (cm³).

A densidade de partícula teve como princípio a utilização da água destilada para medir o volume deslocado por uma massa de solo em um balão volumétrico de 100ml.

A porosidade do solo foi calculada por meio da expressão:

$$Pt = \frac{(MSSa - MSS)}{V} \quad (3)$$

Onde: Pt é a porosidade total (m³.m⁻³), MSSa é a massa de solo saturado (g), MSS é a massa de solo seco (g) e V é o volume interno do cilindro (cm³).

A microporosidade foi calculada por meio da expressão:

$$Mi = \frac{(MSS60cca - MSS)}{V} \quad (4)$$

Onde: Mi é a microporosidade (m³.m⁻³), MSS60cca é a massa do solo e água após o equilíbrio com um potencial de 60kPa (g), MSS é a massa do solo seco (g) e V é o volume interno do cilindro (cm³).

A macroporosidade foi calculada por meio da diferença entre a porosidade total e a microporosidade pela equação:

$$Ma = Pt - Mi \quad (5)$$

Onde: Ma é a Macroporosiade ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$), Pt é a porosidade total ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) e Mi é a microporosidade ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$).

4.2.4. Estabilidade dos agregados

A determinação do diâmetro médio ponderado de agregados úmidos (DMPAu), diâmetro médio ponderado de agregados secos (DMPAs) e o percentual de macroagregados úmidos (MacroU) e secos (MacroS) seguiu a metodologia proposta por Kemper & Chepil, (1965), com alterações propostas por Carpenedo & Mielniczuk (1990) e por Silva & Mielniczuk (1997), que tem como princípio, avaliar a resistência que os agregados apresentam quando submetidos à oscilações em peneiras em água e em tamisamento a seco. O índice de estabilidade de agregados (IEA) foi estimado mediante relação entre o DMPAu/DMPAs, equações:

$$\text{DMPAu} = \sum(Xis \times Wis) \quad (6)$$

$$\text{DMPAs} = \sum(Xiu \times Wiu) \quad (7)$$

$$\text{IEA} = \frac{\text{DMPAu}}{\text{DMPAs}} \quad (8)$$

Onde : DMPAu (mm) – é o diâmetro médio ponderado de agregados via úmida, DMPAs (mm) - diâmetro médio ponderado de agregados via seca, Xis (mm) – diâmetro médio de cada classe de agregado por via seca, Wis (%) – proporção de agregados em cada classe de peneira (i) por via seca, Xiu (mm) –diâmetro médio de cada classe de agregado por via úmida, Wiu (%) –proporção de agregados em cada classe de peneira (i) por via úmida e IEA é o índice de estabilidade de agregados (adimensional).

4.3. Testes de Chuva

4.3.1. Instalação e realização do estudo

O solo coletado a campo, foi seco ao ar e posteriormente destorroado e peneirado em malha de 8mm de diâmetro. A parcela experimental para realização dos testes possui medidas de 0,41x0,43x0,08 m, com área útil de 0,1763 m² e volume de 0,014 m³.

As parcelas foram preenchidas com uma camada de solo, utilizando-se a densidade de 1,30 g cm⁻³, antes de cada teste, as amostras foram umedecidas com antecedência de 1 hora,

deixando o solo com umidade na capacidade de campo, e posicionadas de forma a apresentarem declividade de $0,05\text{m m}^{-1}$ (Figura 5).

4.3.2. Aplicação das chuvas simuladas

As chuvas simuladas em casa de vegetação foram efetuadas utilizando-se simulador de chuvas, semelhante ao descrito por Meyer & Harmon (1979), com bico aspersor tipo Vee-Jet 80100 situado a 3,1 m acima da superfície do solo, operando com pressão constante de 41 kPa na saída do bico. Realizaram-se 4 testes, um por tratamento, que consistiram em aplicações de chuva simulada com intensidade aproximada de 130 mm.h^{-1} durante 75 minutos, sobre 3 parcelas por teste.



Figura 5 - Visão geral do simulador de chuvas e das parcelas experimentais.

4.3.3. Determinação de perda de solo e água

Amostras do escoamento superficial foram coletadas durante um minuto a cada três minutos de chuva. As taxas de perdas de solo e a concentração de sedimentos foram obtidas pela pesagem do material coletado nos potes plásticos com capacidade de 500 mL, colocados na extremidade da calha coletora.

As amostras de enxurrada coletadas foram levadas ao laboratório, onde os potes com solo e água foram pesados. Em seguida, foram adicionados 5 mL de sulfato de alumínio e potássio dodeca hidratado $[\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ a 5% para acelerar o processo de sedimentação.

Os potes permaneceram em repouso por 24 horas e com auxílio de uma mangueira plástica, foi retirado por sifonamento o máximo possível de água sobrenadante. Posteriormente, os potes foram secos em estufa a uma temperatura média de 105°C por 24 horas. Em seguida os potes foram pesados com e sem o solo seco. A massa de água foi calculada, subtraindo-se a massa de solo perdida da massa total da enxurrada. A relação entre a massa de solo seco e a massa de mistura água-sedimento expressa a concentração de sedimentos em peso (kg kg^{-1}). A relação entre a massa de água e a massa da mistura água-sedimento expressa a concentração de água na amostra, em kg kg^{-1} , tendo-se admitido a mesma expressa com base em volume, dado por L L^{-1} .

4.3.4. Determinações de taxa de desagregação e erodibilidade do solo em entressulcos

As taxas de desagregação do solo em entressulcos foram determinadas para cada intervalo de amostragem através da divisão da massa de solo desagregado na unidade de tempo, pela área da parcela, sendo, portanto, expressa em $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

$$PSi = \frac{\sum(Q.C.t)}{A} \quad (9)$$

Onde PSi é a perda total de solo em entressulcos ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$); Q é a descarga total (L s^{-1}); C é a concentração de sedimentos na enxurrada (kg L^{-1}); t é o intervalo de tempo entre duas amostragens (s); A é a área da parcela (m^2).

As taxas de desagregação do solo em entressulcos foram determinadas conforme a expressão a seguir:

$$Di = \frac{Mss}{A.dc} \quad (10)$$

Onde Di é a taxa de desagregação do solo em entressulcos ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$); Mss é a massa do solo seco desagregado (kg); A é a área da parcela (m^2); dc é a duração da coleta (s).

A erodibilidade nos entressulcos foi calculada pela equação (Elliot et al., 1989):

$$Ki = \frac{Di}{I^2.Sf} \quad (11)$$

Onde Ki é erodibilidade do solo em entressulcos (kg s m^{-4}); Di é a taxa máxima de desagregação do solo nos entressulcos ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$); i é a intensidade da chuva (m s^{-1}), e Sf, o fator de correção para o declive.

Esse fator é dado pela equação (Liebenow et al., 1990):

$$Sf = 1,05 - 0,85 \exp(-4 \operatorname{sen}(\theta)) \quad (12)$$

Onde θ é o ângulo do declive (graus) e \exp é a base dos logaritmos neperianos. Este fator Sf é 0,2 para declive plano e 1 para declive de 45°.

4.3.5. Caracterização das variáveis hidráulicas do escoamento em entressulcos

A descarga líquida (q_i), em $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, foi determinada a partir das coletas de enxurrada em potes plásticos, colocados na extremidade da calha de descarga, durante o tempo cronometrado, e dividido pela largura da parcela.

A velocidade superficial do escoamento (V_s), foi determinada através da cronometragem do tempo gasto para que um corante, azul de metileno, percorra a distância entre dois pontos fixos na parcela. As velocidades médias do escoamento (V_m) foram determinadas pelo produto das velocidades superficiais do escoamento e um fator de correção $\alpha = 2/3$, tendo em vista a distribuição do perfil de velocidade (Katz et al., 1995).

Com base na determinação da descarga líquida (q_i) e da velocidade média do escoamento (V_m) foram estimadas outras características hidráulicas.

A altura da lâmina do escoamento foi estimada através da equação derivada por Woolhiser & Liggett (1967) e Singh (1983) para fluxo em um plano sob chuva de duração finita e dada pela seguinte expressão:

$$h = \frac{q_i}{V_m} \quad (13)$$

Onde h é a altura da lâmina de escoamento (m); q_i é a descarga líquida total por unidade de largura ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) e V_m é a velocidade média do escoamento ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

O número de Reynolds foi obtido por meio da equação de Simons & Senturk (1992) e dada por:

$$\text{Re} = \frac{V_m \cdot h}{\nu} \quad (14)$$

Onde Re é o número de Reynolds, adimensional; V_m é a velocidade média do escoamento ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); h é a altura da lâmina de escoamento (m) e ν é a viscosidade cinemática da água ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). A viscosidade cinemática do escoamento varia em função da temperatura. O valor foi obtido com a utilização da equação de Julien (1995), que é expressa conforme a temperatura da água, dada por:

$$\nu = [1,14 - 0,031(T - 15) + 0,00068(T - 15)^2] \cdot 10^{-6} \quad (15)$$

Onde T é a temperatura da água em °C.

O número de Froude foi obtido por meio da equação apresentada por Simons & Senturk (1992) e expressa por:

$$Fr = \frac{Vm}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (16)$$

Onde Fr é o número de Froude, adimensional; Vm é a velocidade média do escoamento (m s⁻¹); g é a aceleração da gravidade (m s⁻²); e h é a altura da lâmina de escoamento (m).

A resistência ao escoamento foi determinada pelo fator de perda de carga de Darcy-Weisbach (Chow, 1959) e dada pela expressão:

$$f = \frac{8 \cdot g \cdot h \cdot S}{Vm} \quad (17)$$

Onde f é o fator de perda de carga, adimensional; g é a aceleração da gravidade (m s⁻²); h é a altura da lâmina do escoamento (m); S é a inclinação do declive (m m⁻¹); e Vm é a velocidade do escoamento (m s⁻¹).

A rugosidade superficial foi determinada pelo coeficiente de Manning (n) o qual, conforme Braida & Cassol (1999), pode ser expresso por:

$$n = \frac{h^{5/3} \cdot S^{1/2}}{qi} \quad (19)$$

Onde n é o coeficiente de rugosidade de Manning (s m^{-1/3}); h é a altura da lâmina de escoamento (m); qi é a descarga líquida (m² s⁻¹); S é o declive da parcela (m m⁻¹).

A tensão cisalhante do escoamento em entressulcos foi obtida por meio da equação dada por Chow (1959):

$$\tau = \gamma \cdot h \cdot S \quad (20)$$

onde τ é a tensão de cisalhamento do escoamento (Pa); γ é o peso específico da água (N m⁻³); h é a altura da lâmina de escoamento (m); e S é a declividade da parcela (m m⁻¹).

4.4. Caracterização de química e fertilidade do solo

Para a caracterização de química e fertilidade do solo, utilizou-se a metodologia proposta por Teixeira et al (2017). Obtendo o pH do solo em água; o fósforo, potássio e sódio

pelo extrator Mehlich-1; acidez potencial (hidrogênio + alumínio) pelo extrator acetato de cálcio; Magnésio, Cálcio e Alumínio pelo extrator KCL 1M e Carbono orgânico total pelo método da oxidação do Dicromato de Potássio.

O teor de matéria orgânica, que foi calculado a partir do carbono orgânico total usando a equação:

$$MO = C \times 1,724 \quad (21)$$

Onde: MO= matéria orgânica do solo (g kg^{-1}), e C= Carbono orgânico total (g kg^{-1}).

A soma de bases, que foi calculada usando a equação:

$$SB = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+ \quad (22)$$

Onde: SB= Soma de bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Ca^{2+} = Cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Mg^{2+} = Magnésio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), K^+ = Potássio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

A capacidade de troca de cátions, que foi calculada usando a equação:

$$CTC = SB + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}) \quad (23)$$

Onde: CTC= Capacidade de troca de cátions total ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), SB= Soma de bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ =Acidez potencial ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

A saturação por bases, que foi calculada usando a equação:

$$V = \frac{100 \times SB}{CTC} \quad (24)$$

Onde: V= Saturação por bases (%), SB= Soma de Bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), CTC= Capacidade de Troca de cátions ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

4.5. Análise estatística

Os resultados obtidos foram avaliados por meio de análise de variância, as comparações de médias foram efetuadas com aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, com o auxílio do software R versão 3.5 (R CORE TEAM, 2018).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização Física do solo

5.1.1. Textura, argila dispersa em água e grau de flocculação

Os resultados das análises de textura, conforme apresentado na Tabela 1, mostram que o solo das áreas avaliadas tem predominância de areia na sua granulometria, todos apresentaram quantidades de areia superiores a 800 g kg⁻¹, a exceção do P3. É comum que Planossolos possuam horizontes superficiais muito arenosos, pois a argila foi transportada para horizontes mais profundos, devido ao processo eluviação (Parahyba et al, 2010; Sousa et al, 2013).

Tabela 1 - Textura e grau de flocculação em um Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.

Condição	Areia						Silte	Argila	ADA	GF	Classe Textural
	AMG	AG	AM	AF	AMF	AT					
	----- g kg ⁻¹ -----										
VN	44 a	69 a	121 a	444 a	128 c	806 a	59 b	135 b	18 ab	857 a	Franco Arenosa
P2	14 b	44 b	110 ab	458 a	210 a	837 a	98 a	65 b	15 ab	764 a	Areia Franca
P3	23 b	42 b	88 b	351 b	164 bc	669 b	94 a	237 a	23 a	887 a	Franco Argilo Arenosa
P4	28 ab	52 b	101 ab	425 ab	208 ab	814 a	112 a	74 b	10 b	873 a	Areia Franca
CV%	29,2	16	12,2	9,8	12,3	5,9	18,4	33,4	32,6	7,3	
F	***	**	*	**	***	***	**	***	*	*	

VN: Vegetação nativa; P2: pastagem com dois anos de implantação; P3: pastagem com três anos de implantação; P4: pastagem com quatro anos de implantação; AMG: Areia muito grossa; AG: Areia Grossa; AM: Areia Média; AF: Areia fina; AMF: Areia muito fina; AT: Areia total; ADA: Argila dispersa em água; GF: Grau de flocculação; CV%: Coeficiente de variação; F: Coeficiente de significância; ***: significante a 0,001%; **: significante a 0,01; *: Significante a 0,05%; Médias seguidas por letras distintas nas mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

Avaliando o fracionamento de Areia, verifica-se que há o predomínio de areia fina e areia muito fina. Segundo Nunes e Cassol (2011), Zhao et al. (2011) e Han et al. (2019), as frações que mais são transportadas em processos erosivos encontram-se nas classes de diâmetro areia fina, areia muito fina e silte.

Quanto a argila dispersa em água (ADA) e o grau de flocculação (GF), os valores de ADA foram baixos, logo, o grau de flocculação foi alto. De acordo com Portela et al (2018) o grau de flocculação pode ser utilizado como um índice para a avaliação da estabilidade de agregados do solo e, quanto mais alto o grau de flocculação do solo, mais a argila tem capacidade de formar microagregados.

5.1.2. Estabilidade de agregados do solo

A distribuição dos agregados entre macro e microagregados, conforme apresentado na Tabela 2, mostra que no solo seco há o predomínio dos macroagregados (0,25-19 mm) e após a movimentação em água, conforme o ponto 4.2.4., eles foram quebrados e tiveram seu tamanho reduzido, de forma que na via úmida ocorre o predomínio de microagregados. O que se reflete no baixo índice de estabilidade dos agregados (IEA).

Em todas as condições ocorreram baixos índices de estabilidade dos agregados (Tabela 2), de acordo com Queiroz et al (2015) a argila é um importante fator para a agregação do solo, assim, a baixa quantidade de argila pode ter influenciado nesse resultado.

Tabela 2 - Distribuição, diâmetro médio ponderado e índice de estabilidade de agregados em um Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.

Condição	Via Seca		Via úmida		DMPAS	DMPAU	IEA
	Macro	Micro	Macro	Micro			
	----- % -----		----- mm -----				
VN	72,50 b	27,50 a	42,55 a	57,45 b	2,31 c	0,85 a	0,37 a
P2	91,85 a	8,15 b	24,48 b	75,52 a	3,45 ab	0,39 b	0,12 c
P3	93,09 a	6,91 b	39,09 a	60,91 b	3,79 a	1,01 a	0,26 b
P4	87,96 a	12,04 b	28,51 b	71,49 a	2,97 bc	0,52 b	0,18 c
CV%	3,9	24,5	13,1	6,7	10,5	22,6	16,8
F	***	***	***	***	***	***	***

VN: Vegetação nativa; P2: pastagem com dois anos de implantação; P3: pastagem com três anos de implantação; P4: pastagem com quatro anos de implantação; DMPAS: Diâmetro médio ponderado de agregado secos; DMPAU: Diâmetro médio de agregado úmido; IEA: Índice de estabilidade de agregados; CV%: Coeficiente de variação; F: Coeficiente de significância; ***: significativo a 0,001%; Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

Quanto ao índice de estabilidade de agregados, a vegetação nativa que apresentou o maior IEA. De acordo com Castro-filho et al. (1998) a formação dos agregados é influenciada pela matéria orgânica do solo, podendo chegar a ser o principal fator de formação de agregados em solos com pouca argila (Brandy & Weil, 2009). Os teores de matéria orgânica, conforme apresentado na tabela 4, mostra que a vegetação nativa não possui o maior teor de MO, entretanto, é possível que a menor interferência humana e animal, o maior período com a mesma ocupação e a atividade biológica podem proporcionar ao solo da vegetação nativa uma melhor estruturação.

Na P3, houve a melhor condição de estabilidade de agregados, dentre das áreas de pastagem, de acordo com a tabela 1, esta área possui a maior quantidade de argila (237 g kg⁻¹), e de acordo com a tabela 4, o maior teor de matéria orgânica (24,43 g kg⁻¹), ambos os fatores

são importantes para a agregação, e provavelmente contribuíram para estes resultados. Os tratamentos P2 e P4, apresentaram teores de argila, matéria orgânica e o IEA semelhantes, assim, pode-se inferir que o tempo de implantação da pastagem não teve grande interferência no IEA do solo, e outros fatores, como a quantidade de argila e matéria orgânica aparentam maior interferência.

5.1.3. Densidade de partícula e do solo e porosidade do solo

A densidade do solo, de acordo com a Tabela 3, aumentou entre a vegetação nativa e a pastagem, mas não entre as áreas de pasto, o aumento da densidade em área de pastagem ocorre como efeito da do pisoteio dos animais (Nascimento et al, 2017), a densidade não teve grande alteração com o tempo de implantação da pastagem. Segundo Brandy & Weil (2009) o aumento da densidade de um solo implica na redução de seu espaço poroso, na Tabela 3 verifica-se isto na vegetação nativa apresentou maior porosidade total ($0,47 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e também a menor densidade ($1,27 \text{ g cm}^{-3}$).

Tabela 3 - Densidades de partícula e do solo e porosidade do solo (macro, micro e total) em um Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.

Condição	Densidade		Porosidade		
	Partícula	Solo	Macro	Micro	Total
	----- g cm^{-3} -----		----- $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ -----		
VN	2,62	1,27 b	0,08 a	0,38 a	0,47 a
P2	2,64	1,51 a	0,04 b	0,36 ab	0,40 b
P3	2,62	1,53 a	0,04 b	0,35 ab	0,40 b
P4	2,69	1,55 a	0,04 b	0,34 b	0,38 b
CV%		3,3	25,3	4,9	5
F		***	***	*	***

VN: Vegetação nativa; P2: pastagem com dois anos de implantação; P3: pastagem com três anos de implantação; P4: pastagem com quatro anos de implantação; CV%: Coeficiente de variação; F: Coeficiente de significância; ***: significante a 0,001%; *: Significante a 0,05%; Médias seguidas por letras distintas nas mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

Dentro das áreas de pastagem não houve variação significativa nos atributos, indicando que a interferência proporcionada pelo pisoteio animal foi conseguiu ser estabilizada pela pastagem.

5.2.Caracterização de química e fertilidade

Os atributos químicos, conforme apresentados na tabela 4, e interpretados segundos as indicações de Prezotti et al (2013) e Sobral et al (2015), indicam, em termos absolutos, uma fertilidade natural mediana, com destaque para os baixos teores de P e K, a permanência da

pastagem por este período, sem uma degradação acelerada, provavelmente deve-se a espécie cultivada (*U. decumbens*) que é considerada de baixa exigência quanto a fertilidade (Schunke, 2001; Pereira et al, 2018).

Tabela 4 - Atributos de química e fertilidade em um Planossolo sob Pastagem e vegetação nativa.

Condição	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺³	C	MO	SB	CTC	V%
	H ₂ O (1:2,5)	-- mg dm ⁻³ --				cmolc dm ⁻³			---- g kg ⁻¹ ----		--- cmolc dm ⁻³ --		%
VN	4,5	1,24	29,04	0,10	2,07	2,40	0,15	2,39	9,56 b	16,48b	4,65	7,04	66,01
P2	4,8	1,83	107,01	0,32	2,07	3,00	0,10	2,54	5,99 c	10,32 c	5,66	8,20	69,02
P3	5,1	2,10	38,71	0,06	4,34	2,97	0,05	3,32	14,17 a	24,43 a	7,47	10,79	69,26
P4	5,3	1,97	39,15	0,16	3,87	2,51	0,05	1,98	4,99 c	8,60 c	6,64	8,62	77,04
CV%									19,1	19,1			
F									***	***			

VN: Vegetação nativa; P2: pastagem com dois anos de implantação; P3: pastagem com três anos de implantação; P4: pastagem com quatro anos de implantação; P: Fosforo; K: Potássio; Na: Sódio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H+Al: Hidrogênio + Alumínio; C: Carbono orgânico total; MO: Matéria orgânica do solo; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca de cátions; V%: Saturação por bases; CV%: Coeficiente de variação; F: Coeficiente de significância; ***: significante a 0,001; Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

Os teores de matéria orgânica encontrados de acordo com Prezotti et al (2013) podem ser considerados como baixos (P2 e P4) e médios (P3 e VN), o maior foi encontrado no tratamento P3, seguido da VN e do P2 e P4, os teores de carbono podem estar sendo influenciados principalmente pela ocupação e os teores de argila presentes no solo. As quantidades de argila, conforme a tabela 1, mostram que o P3 tem mais argila, enquanto nos outros tratamentos os teores foram semelhantes.

Os maiores teores de carbono presentes nas áreas de vegetação nativa devem-se ao histórico de deposição de material proveniente da vegetação e da biota do solo, é comum que áreas com vegetação nativa apresentem maiores quantidades de matéria orgânica no solo, os trabalhos de Bernini et al (2009) e Dortzbach et al (2015), mostram situações semelhantes.

Nas áreas de pastagem houveram 2 situações, nos tratamentos P2 e P4, onde os teores de MO foram semelhantes, e no P3 onde os teores foram superiores a todos os outros tratamentos, o que pode ser explicado pela influência da quantidade de argila, pois a matéria orgânica tem uma capacidade de formar ligações com a argila, criando uma proteção, havendo uma tendência ao aumento dos teores de matéria orgânica conforme aumentam os teores de argila, segundo apresentado por (Silva & Mendonça, 2007).

5.3.Caracterização das variáveis hidráulicas do escoamento

As características hidráulicas dos testes de erosão, conforme apresentados na Tabela 5, demonstram que o regime de escoamento superficial apresentou número de Reynolds (Re) inferior a 500 e número de Froude (Fr) inferior a 1, a descarga líquida (Q) com grandeza na ordem de 10^{-5} e altura de lâmina de escoamento (h) na ordem de 10^{-4} . Essas condições permitem inferir que o regime de escoamento foi o laminar lento, característico de erosão entressulcos (Morgan, 2005). Estes resultados corroboram com os valores encontrados por Barros-Cantalice et al (2009) e Tavares (2016).

A velocidade superficial de escoamento (Vs) apresentou o seu maior valor na condição de Vegetação nativa (VN), onde também ocorre a menor rugosidade. A menor Vs ocorreu no P3, onde também há o maior coeficiente de rugosidade. Segundo Cassol et al. (2004) a redução da velocidade de escoamento está relacionada com uma maior rugosidade superficial e também a tendência de elevação da altura da coluna de água (h), condição que pode ser constatada na Tabela 5.

Tabela 5 - Caracterização das variáveis hidráulicas do escoamento em entressulcos em um Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.

Condição	Q	Vs	h	v	n	τ	F	Re	Fr
	$m^2.s^{-1}.10^{-5}$	$m.s^{-1}$	$m.10^{-4}$	$m^2.s^{-1}.10^{-7}$	$m^{1/3}.s^{-1}$	Pa	----- Adimensional -----		
VN	1,50 a	0,0189 a	7,93 a	8,85 c	0,102 a	0,389 a	0,166 a	16,9 a	0,216 a
P2	1,30 a	0,0174 ab	7,56 a	8,89 b	0,109 a	0,371 a	0,175 a	14,5 a	0,206 a
P3	1,39 a	0,0147 b	9,41 a	8,81 d	0,146 a	0,461 a	0,251 a	15,7 a	0,154 a
P4	1,34 a	0,0177 ab	7,57 a	8,98 a	0,105 a	0,371 a	0,168 a	14,9 a	0,206 a
CV%	12,5	6,5	13,7	0	13,9	13,7	17,9	12,6	11,8
F		*		***	.				.

VN: Vegetação nativa; P2: pastagem com dois anos de implantação; P3: pastagem com três anos de implantação; P4: pastagem com quatro anos de implantação; Q (descarga líquida), Vs (velocidade superficial de escoamento), h (altura da lâmina de água), v (viscosidade cinemática), n (coeficiente de rugosidade), τ (tensão de cisalhamento), F (fator de perda de carga), Re (número de Reynolds) e Fr (número de Froude) ; CV%: Coeficiente de variação; F: Coeficiente de significância; ***: significante a 0,001%; *: Significante a 0,05%; . : Significante a 0,1%; : Significante a 1%; Médias seguidas por letras distintas nas mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

Ainda na Tabela 5, observa-se que a tensão de cisalhamento, não variou significativamente, indicando que mesmo havendo diferenças, a tensão de cisalhamento necessária para romper os agregados, não diferenciou nas condições avaliadas. O fator de perda de carga (F) pouco foi influenciado pelas condições, indicando que a resistência promovida pelo solo foi semelhante em todas as condições.

5.4. Taxa de desagregação, erodibilidade e perdas de solo.

As taxas médias de desagregação do solo em entressulcos (Di), entre as condições estudadas, variaram de $1,88 \times 10^{-4}$ a $3,44 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Verifica-se que não houve diferenças significativas nas taxas de desagregação nas condições avaliadas, a erodibilidade (Ki) é calculada a partir da taxa de desagregação, logo o comportamento de ambas foi semelhante.

Tabela 6 - Taxas de desagregação (Di), Perda de solo total (PSi) e erodibilidade (Ki) de Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.

Condição	Di	Psi	Ki
	$\text{Kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\text{Kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Kg s m^{-4}
VN	$1,88 \cdot 10^{-4}$ a	$0,46 \cdot 10^{-2}$ b	$3,56 \cdot 10^{-1}$ a
P2	$2,51 \cdot 10^{-4}$ a	$0,96 \cdot 10^{-2}$ ab	$4,93 \cdot 10^{-1}$ a
P3	$3,44 \cdot 10^{-4}$ a	$1,70 \cdot 10^{-2}$ a	$6,87 \cdot 10^{-1}$ a
P4	$3,19 \cdot 10^{-4}$ a	$1,40 \cdot 10^{-2}$ ab	$6,28 \cdot 10^{-1}$ a
CV%	20,3	30,4	20,3
F		*	

VN: Vegetação nativa; P2: pastagem com dois anos de implantação; P3: pastagem com três anos de implantação; P4: pastagem com quatro anos de implantação; CV%: Coeficiente de variação; F: Coeficiente de significância; *: Significante a 0,05%; : Significante a 1%; Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna, diferem entre si ao nível de significância de 5 % pelo teste de Tukey.

A erodibilidade (Ki), indica a suscetibilidade do solo à erosão hídrica (Silva et al, 2009). Essa propriedade depende das propriedades que atuam na resistência do solo a desagregação e que afetam o seu transporte pela água, ambos processos dependem principalmente da estabilidade de agregados (Tavares, 2016), entretanto, mesmo com as variações na estabilidade de agregados (tabela 2) e em outros fatores importantes para a erosão, como teores de areia média AM, areia fina AF e silte (tabela1), o solo apresentou a mesma suscetibilidade a erosão.

A taxa de desagregação durante o teste de chuva, como apresentada na Figura 1, mostra que mesmo não significativas, ainda é possível constatar as variações na Di em cada condição, como a VN permanecendo a maior parte do tempo com as menores taxas de desagregação, pode-se inferir que há interferência da estabilidade dos agregados promovida pelo tempo de ocupação com a vegetação. Percebe-se que na primeira amostragem, a Di é semelhante em todas as condições, exceto a P4, e após o início, cada tratamento apresenta suas próprias características.

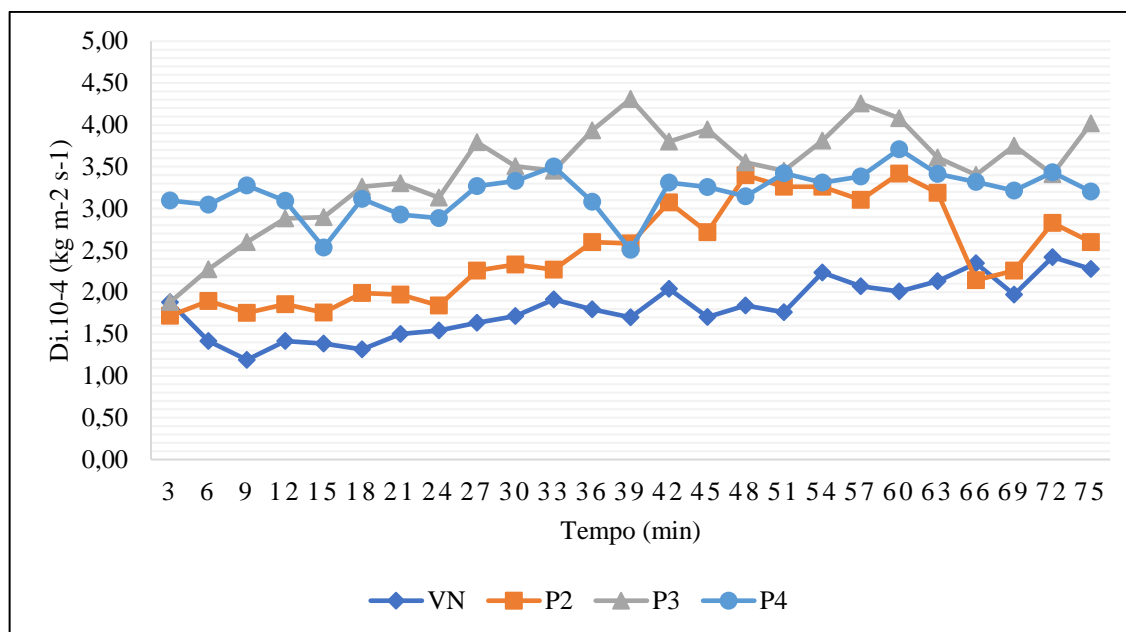


Figura 6 - Taxas de desagregação em um Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.

Nota-se que a P4 apresenta um comportamento diferente, com variações relativamente menores, apresentando taxas de desagregação quase constante durante o teste. Considerando os dados da Tabela 1, onde esse tratamento teve sua textura classificada como Areia Franca, na Tabela 2, onde apresentou o segundo menor índice de estabilidade de agregados (0,18), a tabela 3, onde o P4 apresentou a maior densidade ($1,55 \text{ g cm}^{-3}$) e menor porosidade ($0,38 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e a tabela 4, onde esse tratamento apresentou o menor teor de matéria orgânica ($8,60 \text{ g kg}^{-1}$), pode-se inferir que esse tratamento apresenta indícios de degradação, por isso apresenta uma menor resistência inicial a desagregação, mas no decorrer do teste, os outros tratamentos equiparam-se a ele.

Pastagens degradadas apresentam maior densidade e menor porosidade quando comparadas a outra em boas condições (Moreira et al, 2005), de acordo com Filizola et al (2019) solos arenosos geralmente sofrem com a problemática da baixa retenção de nutrientes o que reduz o potencial produtivo de qualquer atividade agropecuária, uma pastagem mal desenvolvida e em processo de degradação terá menor capacidade de influenciar na estrutura do solo.

As perdas toais de solo (PSi), apresentadas na Tabela 6, indica a quantidade de solo que foi deslocada para fora das parcelas, nessa variável há diferença entre as médias dos tratamentos. A pastagem com 3 anos de implantação (P3) foi a condição com as maiores perdas de solo ($1,70 \cdot 10^{-2} \text{ Kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), e a vegetação nativa (VN) apresentou as menores perdas ($4,66 \cdot 10^{-3} \text{ Kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), os outros tratamentos (P2 e P4) apresentaram taxas de perdas que não diferiram

de nenhum dos outros tratamentos, Mainer et al (2013), atribui as menores perdas de solo em vegetação nativa ao efeito da matéria orgânica do solo, pois esta auxilia na agregação e na estabilidade de agregados, entretanto, o tratamento P3, que teve as maiores perdas de solo, também possui o maior teor de MO ($24,43 \text{ g kg}^{-1}$).

Deve-se considerar que o solo sob vegetação nativa, não possui apenas mais matéria orgânica, mas também há a tendência de possuir uma estrutura mais estável devido a menor interferência no solo e ao maior período de interação com a vegetação, fungos e biota presente no solo, de acordo com Silva & Mendonça (2007), a matéria orgânica tem diferentes formas de ação na estruturação de um solo, Silva et al (2019b) constatou que áreas de caatinga com diferentes períodos de regeneração possuem diferentes taxas de perda de solo, e que quanto maior o tempo menores as perdas.

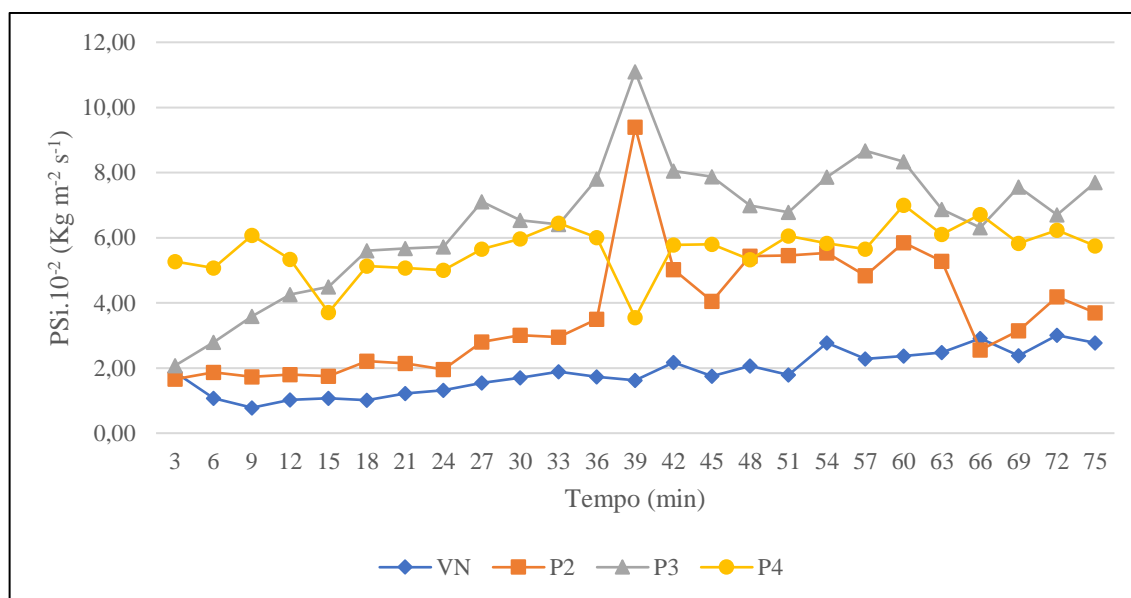


Figura 7 - Perdas de solo em um Planossolo sob pastagem e vegetação nativa.

As taxas de perdas de solo nas áreas de pastagem não diferiram entre si, mas o tratamento P3 foi o único que diferiu do VN, ou seja, o P3 apresenta taxas de erosão que não são significativamente diferentes das outras áreas de pastagem, mas são da área de vegetação nativa. Considerando que esse tratamento (P3) possui os maiores teores de argila (237 g kg^{-1}), e uma estabilidade de agregados baixa (0,26), provavelmente a argila pode estar influenciando as perdas, formando microagregados com comportamento semelhante a areia, Nunes e Cassol (2011) constataram que solos com baixa estabilidade de agregados, podem possuir comportamento semelhante a este. O efeito da pastagem aumentando as perdas ou as mantendo

próximo a da vegetação nativa foi constatado por Santos et al (2017), atribuindo a variação ao desenvolvimento da pastagem, pastagens melhores desenvolvidas diminuem a perda de solo.

O comportamento das perdas de solo durante o teste de chuva, como apresentado na figura 2, foi semelhante ao apresentado na figura 1. Tavares (2016) e Anjos-Neto (2017) também obtiveram desagregação e perdas de solo, no decorrer da simulação, semelhantes.

6. CONCLUSÕES

A conversão da vegetação nativa em pastagem, não alterou a erodibilidade do solo, entretanto, mas aumentou as perdas de solo.

O tempo de implantação da pastagem não interferiu nas perdas de solo, taxas de desagregação e erodibilidade.

O regime de escoamento superficial obtido na condição estudada foi laminar subcrítico, característico de erosão em entressulcos.

A conversão de vegetação nativa em pastagem alterou os atributos físicos do solo, reduzindo a estabilidade de agregados, aumentando a densidade e reduzindo a porosidade, entretanto o período de implantação da pastagem não interferiu nos atributos físicos.

As áreas de pastagem tenderam a apresentar teores de matéria orgânica inferiores ao da vegetação nativa, e exceção do tratamento P3, onde o maior teor de argila proporcionou um maior acúmulo de matéria orgânica no solo.

REFERÊNCIAS

- AESA. **Meteorologia: Chuvas**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>>. Acesso em 15 de outubro de 2019.
- ANJOS-NETO, A. P. dos. **Escoamento superficial e erosão entressulcos em distintas condições de superfície do solo**. 2017, 17f, trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.
- BARROS-CANTALICE, J. R.; BEZERRA, S. A.; OLIVEIRA, O. F. L.; MELO, R. O. de. Hidráulica e taxas de erosão em entressulcos sob diferentes declividade e doses de cobertura morta. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 68-74, 2009.
- BATISTA, D.; SOUSA, F. Avaliação da condutividade hidráulica do solo sobre condições de cobertura por cerrado e pastagem. **Geoambiente On-line**, n. 25, 2015.
- BATISTA, M. de A.; PAIVA, D. W. de; MARCOLINO, A. **Solos para todos: perguntas e respostas**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2014.
- BERNINI, T. A.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; COUTINHO, F.S.; ZATORRE, N. P.; WADT, P. G. S. Frações granulométricas e oxidáveis da matéria orgânica do solo em sucessão floresta – pastagem no Acre. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 4334-4338, 2009.
- BLANCO, H.; LAL, R. **Principles of soil conservation and management**. Springer Science & Business Media, 2008.
- BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; FLEISCHER, L. R.; LUGATO, E.; BALLABIO, C.; ALEWELL, C.; MEUSBURGER, K.; MODUGNO, S.; SCHÜTT, B.; FERRO, V.; BAGARELLO, V.; OOST, K. V.; MONTANARELLA, L.; PANAGOS, P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. **Nature Communications**, n.8, 2013.
- BOVI, R. C.; SILVA, L. F. S. da; ZENERO, M. D. O.; CARVALHO, C. C. de; COOPER, M. Sediment Morphology, Distribution, and Recent Transport Dynamics in a Reforested Fragment. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, e0160454, 2017.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- BRAIDA, J.A.; CASSOL, E.A. Relações de erosão em entressulcos com o tipo e a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v.23, p.711-721. 1999.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n.1, p. 147-157, 2009.

- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.99-105, 1990.
- CARVALHO, C. A. de. Ocupação e uso de terras no Brasil a partir do Cadastro Ambiental Rural-CAR. **Embrapa Territorial-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017.
- CARVALHO, T. B. de; ZEN, S. de. A cadeia de Pecuária de Corte no Brasil: evolução e tendências. **Revista iPecege**, Piracicaba, v. 3, n. 1, p. 85-99, 2017.
- CASSOL, E. A.; BARROS-CANTALICE, J. R.; REICHERT, J. M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 39, n.7, p.685-690, 2004.
- CASTRO-FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 22, p 527-538, 1998.
- CHOW, V.T. **Open Channel Hydraulic**. New York, NY : McGraw-Hill, 1959. 680p.
- COLODRO, C.; CARVALHO, M. P.; ROQUE, C. G.; PRADO, R. M. Erosividade da Chuva: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica em Teodoro Sampaio (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p.809-818, 2002.
- COSTA, J. J. O. da; JUNIOR, E. F. F.; PEREIRA, M. G.; COSTA, F. de S.; MENEZES, A. L. de; SILVA, S. B. da; ARAUJO, J. de A.; ARAÚJO, J. da C. Características físicas em sistemas agrícolas da Amazônia ocidental – Acre. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. **Anais...**, Uberlândia: SBCS, 2011, p. 1-4.
- DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia oriental, 2014.
- DIAS-FILHO, M. B. **Uso de Pastagens para a produção de bovinos de corte no Brasil: passado presente e futuro**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2016.
- DORTZBACH, D.; PEREIRA, M. G.; BLAINSKI, E.; GONZÁLEZ, A. P. Estoque de C e abundância natural de ^{13}C em razão da conversão de áreas de floresta e pastagem em bioma mata atlântica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 6, v. 39, p. 1643-1660, 2015.
- DYONISIO, H. A. F.. Erosão Hídrica: Suscetibilidade do Solo. **Revista Eletrônica Thesis**, São Paulo, v.7, n.13, p. 15-25, 2010.
- ELLIOT, W.J.; LIEBENOW, A.M.; LAFLIN, J.M.; KOHL, K.D. **A compendium os soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987-88**. Washington: The Ohio State University : USDA, Agricultural Research Service, 1989. P.A2-A25 (NSERL. Report, 3).
- FANTIN, T. Y. **Cobertura vegetal e erosão em entressulcos sob pastagem irrigada em Uberaba-MG**. 2012, Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.

FAO. **Soil Erosion: the greatest challenge for sustainable soil management**. Roma: FAO, 100p, 2019.

FERREIRA, R. R. M.; FILHO, J. T.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, n.4, p.913-932, 2010.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; BARBERO, L. M.; LUGÃO, S. M. B.; COSTA, M. A. T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, V. 43, n.11, p.1583-1590, 2008.

FILIZOLA, Heloisa Ferreira et al. **Diagnósticos de atributos físico-hídricos dos solos de textura arenosa em áreas de intensificação agrícola no bioma Cerrado**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. **Degradação dos Solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação do Solo**. 10ª ed. Rio de Janeiro: Betrand Brasil, 2015.

HAN, Z.; WANG, X.; SONG, D.; LI, X.; HUANG, P.; MA, M. Response of soil erosion and sediment sorting to the transport mechanism on a steep rocky slope. **Earth Surface Processes And Landforms**, n. 44, p.2467-2478, 2019.

IBGE. **Divisão regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

IBGE. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira** 2ªed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INMET. **Normais climatológicas do Brasil: 1981-2010**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em 15 de outubro de 2019.

IVO, W.M.P de M.; NEVES, J. A. das; SANTOS, C. C. dos; WASHINGTON, A.; SILVA, P. A. Perdas de solo e água em sistemas de manejo da palhada da cana-de-açúcar. In: Congresso Técnico Científico Da Engenharia E Da Agronomia, 2018, Maceió. **Anais...** Maceió: Confea, 2018. P.1-5.

JULIEN, P.Y. **Erosion and sedimentation**. Melbourne: Cambridge University Press, 1995.280p

KATZ, D.M.; WATTS, F.J.; BURROUGHS, E.R. Effects of Surface roughness And rainfall Impact on overland flow. **Journal Hydrology Division**, New York, v.121, p. 546-553, 1995.

KEMPER, W.D. Aggregate stability. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.511-519.

KLEIN, V. A. **Física do Solo** 3ªed. Passo Fundo: UPF editora, 2014.

KONRADT, E. C.; NOVAK, E.; CARVALHO, L. A. de; TOMAZI, M.; SALES, L. de C.; SANTOS, L. L. dos. Estabilidade de agregados dde um Latossolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015, Natal. **Anais...** Natal: SBCS, 2015, p.1-4.

LIEBENOW, A.M. ELLIOT, W.J.; LAFLEN, JM; KOHL, K.O. Interrill erodibility: collection and analysis of data from cropland soils. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.33, p. 1882-1888, 1990.

MAIER, C.; KAUFMAN, V.; MERTEN, G. H.; CASTRO, N. M. R.; OLIVEIRA, F. P. de. Efeito da crosta superficial na erosão entressulcos de um Neossolo Litólico submetido a diferentes usos e manejo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.1, p.149-163, 2013.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F. do; ARAÚJO-FILHO, J. C. de; SILVA, A. B. da. **Solos do Nordeste**. Recife: Embrapa Solos, 2014.

MARTINS, J.C.; FERNANDES, R. Processo de degradação do solo – medidas de prevenção. **Vida Rural**. v.5, n.1827, P.34-36, 2017.

MEDEIROS, B. M. **Atualização da classificação do mapa de solos da Paraíba**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia), Areia, Universidade Federal da Paraíba, 2018.

MEYER, L.D. & HARMON, W. C. Mutiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes, **Transactions of the American Society of Agricultural**. Eng. v.22, p.100-103, 1979.

MEYER, L.D.; FOSTER, G.R.; ROMKENS, M.J.M. Source of soil eroded by water from upland slopes. In: USDA-ARS (Ed.) **Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources**. Washington: USDA-Agricultural Research, 1975.

MONTGOMERY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 33, p. 13268-13272, 2007.

MORAIS, T. P. S.; PISSARRA, T. C. T.; REIS, F. C. dos. Atributos Físicos e Matéria Orgânica de um argissolo vermelho-amarelo em microbacia hidrográfica sob vegetação nativa, pastagem e cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, Goiania, v.8, n.15, p.214-223, 2012.

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Atributos Químicos e Físicos de um Latossolo vermelho distrófico sob pastagem recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, n.35, v.3, p. 155-161, 2005.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation** 3ª ed, John Wiley & Sons, 2005.

MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B.; GEBHARDT, H. Mineralogia de um Argissolo Vermelho-amarelo Eutrófico de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico numa topossequência de Gnaiss no sertão central do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.3, p.607-618, 2002.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. de F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P. F. da S. Degradação de Pastagens na região amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa agropecuária brasileira**. V.36, n.11 p. 1409-1418, 2001.

NASCIMENTO, R. J. de A. **Erodibilidade entressulcos, escoamento superficial e formação de crosta em solos representativos do estado da Paraíba**. 2019. 114p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2019.

NASCIMENTO, V.; ALMEIDA, G.; BATISTA, P.; COUTINHO, A. Atributos físicos do neossolo regolítico distrófico sob pastagem submetido à colheita mecanizada da forragem e pastejo animal. **Boletim de Indústria Animal**, v. 74, n. 3, p. 169-175, 1 nov. 2017.

NUNES, M. C. M.; CASSOL, E. A. Produção de sedimentos pela erosão em entressulcos em três Latossolos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. Vol. 15, n. 6, p. 541-547, 2011.

OLIVEIRA, F. P.; BUARQUE, D. C.; VIERO, A. C.; MERTEN, G. H.; CASSOL, E. A. & MINELLA, J. P. G. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, p.337–346, 2012.

OLIVEIRA, F. P. de. **Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica em bacia rural em Arvorezinha, RS, utilizando WEPP**. 2010, tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

OLIVEIRA, F. P. de; SANTOS, D.; SILVA, I. de F. da; SILVA, M. L. N. Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n.2, p.60-71, 2008.

PARAHYBA, R. da B. V.; SANTOS, M. C. dos; ROLIM-NETO, F. C.; JACOMINE, P. K. T. Pedogênese de planossolos em topossequência do agreste pernambucano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1991-2000, 2010.

PELLEGRINI, A.; MEINERZ, G. R.; KAISER, D. R. Compactação do solo em sistemas intensivos de integração Lavoura-pecuária leiteira. In: TIECHER, T. **Manejo e Conservação do Solo e da água em pequenas propriedades da região sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. Cap. 4. p. 49-64.

PEREIRA, L. E. T.; NISHIDA, N. T.; CARVALHO, L. da R.; HERLING, V. R. **Recomendações para correção e adubação de pastagens tropicais**. Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, 2018.

PORTELA, J. C.; SILVA, A. C. da; SILVA, S. Y. A. M. da; OLIVEIRA, M. A. de S.; SILVA, F. W. A. Argila dispersa em água e grau de floculação em classe de solos. In: Congresso Internacional das Ciências Agrárias, 2018, João Pessoa, *Anais...*, João Pessoa: COINTER PDVagro, 2018, p. 1-7.

PREZOTTI, L. C.; M. GUARÇONI, A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória: Incaper, 2013.

QUEIROZ, A. F. de; SALVIANO, A. M.; OLSZEWSKI, N.; CUNHA, T. J. F.; NETO, M. B. de O. Percentagem de agregados em diferentes classes de solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015, Natal. *Anais...* Viçosa: SBCS, 2015, p.1-4.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. 2018. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2019.

RAMALHO, M. F. de; LOURENÇO, C. C. de C.; MEDEIROS, L. F. da C. Efeitos da dinâmica eólica no ambiente de dunas em Natal/RN. **Sociedade e Território**, v.25, n.1, p.30-44, 2 de maio 2013.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**. v. 102, n. 1, p. 142-254, 2009.

RIBEIRO, P. L.; BAMBERG, A. L.; REIS, D. A.; OLIVEIRA, A. C. B. de. Condições físico-hídricas de Planossolo cultivado com sola em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 51, n.9, p.1484-1491, 2016.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Soil aggregation and aggregate stability under crop-pasture systems in Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO-FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos 5ª Ed.** Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, J. C. N. dos; ANDRADE, E. M. de; MEDEIROS, P. H. A.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. de Q. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. **Revista Ciência Agronômica**, n. 2, v. 48, p. 251-260, 2017.

SCHUNKE, R. M. **Interações entre a adubação de pastagens e a suplementação mineral de bovinos**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001.

SILVA, A. M. da; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p.1811-1820, 2009.

- SILVA, Apolino J. N. da; CABEDA, Mário S. V.; CARVALHO, Fabíola G. de. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 579-585, 2006.
- SILVA, B. P. C.; SILVA, M. L. N.; BATISTA, P. V. G.; PONTES, L. M.; ARAÚJO, E. F.; CURI, N. Soil and water losses in eucalyptus plantation and natural forest and determination of the USLE factors at a pilot sub-basin in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 4, p. 432-442, 2016.
- SILVA, G. R. V. da. **Erosão entressulcos em área cultivada com cana-de-açúcar**. 2011, Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.
- SILVA, I. R. da; MENDONÇA, E. de S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 275-374.
- SILVA, J. R. I.; SOUZA, E. S. de; SOUZA, R.; SANTOS, E. S. dos; ANTONINO, A. C. D. Efeito de diferentes usos do solo na erosão hídrica em região semiárida. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 3, p. 272-283, 2019b.
- SILVA, M. S. L. da. **Estudos da erosão**. EMBRAPA-CPATSA, 1995.
- SILVA, P. L. F. da; OLIVEIRA, F. P. de; NÓBREGA, C. C. da; MARTINS, A. F.; PEREIRA, E. E.; BOTELHO, I. G. dos S.; TAVARES, D. D.; SANTOS, T. E. D. Physical Quality Indicators of an Oxisol Under Grass in the Agreste Region of Paraíba, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v.11, v.15, p. 65-77, 2019a.
- SILVA, I. F. & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.313-319, 1997.
- SILVEIRA, F. P. da M.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, Y. J. A. B. da; CAVALCANTE, D. M.; GOMES, C. Erosão em entressulcos em área de pastagem. In: Congresso Brasileiro de ciência do solo, 2015, Natal. **Anais...**Natal: SBCS, 2015, p. 1-4.
- SIMONS, D. B.; ŞENTÜRK, F. **Sediment transport technology**: water and sediment dynamics. Water Resources Publication, 1992.
- SINGH, V.P. Analytical solutions of cinematic for erosion on a plane: II Rainfall of finite duration. **Advanced Water Research**, Brisbane, 6:88-95, 1983.
- SOBRAL, L. F.; BARRETTO, M. C. de V. SILVA, A. J. da; ANJOS, J. L. dos.; **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros costeiros, 2015.

SOUSA, A. R. de; ALBUQUERQUE, S. F. de; SILVA, A. B. da; LOPES, G. M. B.; FILHO, J. N. Caracterização e interpretação para uso agrícola de um Planossolo Háplico Eutrófico Sódico do agreste pernambucano. In: Reunião Nordestina de Ciência do solo. 2013, Areia, *Anais...* Viçosa: SBCS, p.1-4.

SOUZA, D. T. M.; COSTA, D. P.; LIMA, H. da M.; FRANCA-ROCHA, W. Análise da fragilidade a erosão nos Planossolos do noroeste do polo de Jeremoabo, bahia. **Revista UD Y LA Geomática**. N. 12, p.35-40, 2017.

TAVARES, D. D. **Crosta superficial e erosão entressulcos em duas classes de solos do estado da Paraíba**. 2016. 46p. Trabalho de conclusão de curso (graduação em agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos e análise de solo**. 3 ed (Revisada e ampliada). Brasília: Embrapa, 573 p. 2017.

WOOLHISER, D.A.; LIGGETT, J.A. Unsteady one dimensional flow over a plane the rising hydrograph. **Water Resources Research**, Washington, v. 3, p. 753-771, 1967.

ZHAO, P.; SHAO, M. A.; OMRAN, W.; AMER, A. M. Effects of erosion and deposition on particle size distribution of deposited farmland soils on the chinese loess plateau. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2135-2144, 2011.